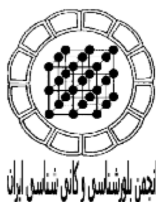
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و سوم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۹۴، از صفحهٔ ۶۲۵ تا ۶۳۸



زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در منطقه اکتشافی سیمرغ، جنوب غرب نهبندان، خراسان جنوبی

رضا برآبادی، سید احمد مظاهری*، محمدحسن کریم‌پور

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۳/۷/۲۲ ، نسخه نهایی: ۹۳/۱۰/۱۸)

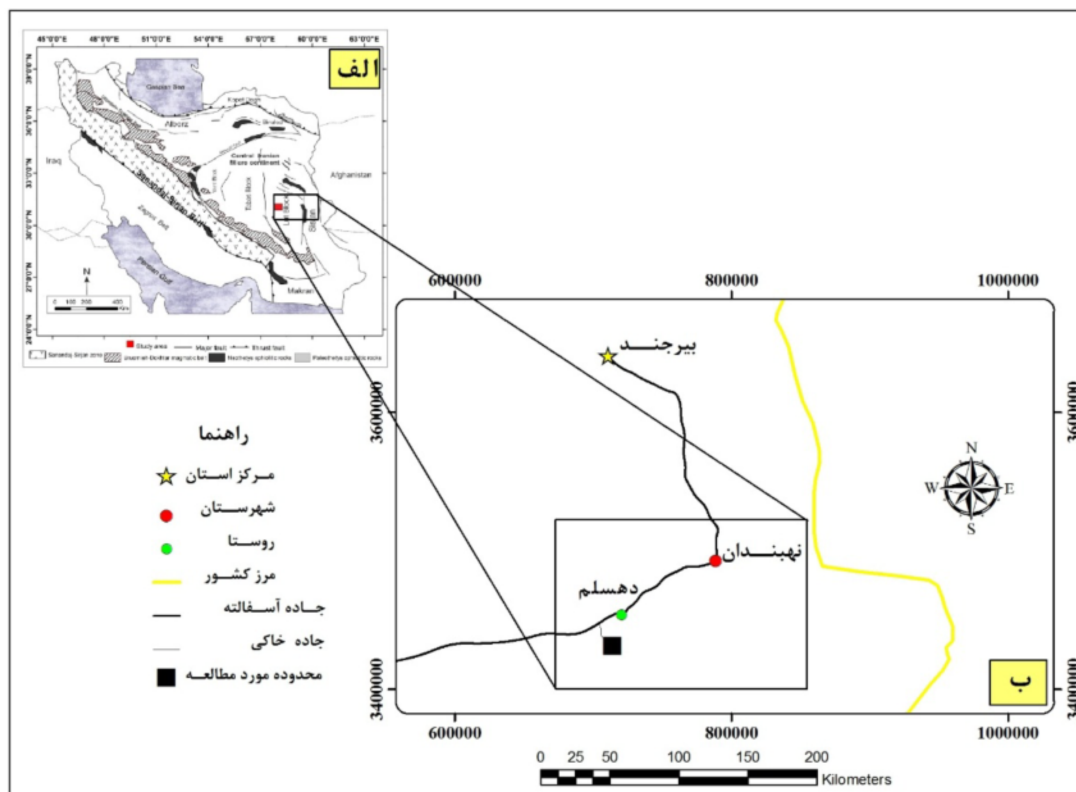
چکیده: منطقه‌ی سیمرغ در ۱۱۳ کیلومتری جنوب غربی نهبندان قرار دارد. پی‌جویی اولیه با استفاده از داده‌های ماهوارهای سنجنده آستر به روش نقشه برداری زاویه ی طیفی، برای مشخص کردن منطقه‌های احتمالی دگرسانی و مقایسه‌ی آن با مشاهدات صحرایی، نتایج رضایت بخشی را فراهم کرد. این گستره شامل برونزدهایی از آتشفشانی‌های ائوسن است که واحدهای متعدد نیمه عمیق در آن‌ها نفوذ کرده‌اند. دگرسانی‌های اصلی عبارتند از پروپیلیتیک، آرژیلیک، سیلیسی و سرسیتیک. کانی‌سازی پیریت در سطح به‌صورت افشان و برش‌های گرمابی مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار طلا ۹۳ میلی گرم در تن، آرسنیک ۳۵ گرم در تن و مولیبدن ۳۳ گرم در تن برآورد شدند. کانی‌سازی پراکنده و همراه با برش‌های گرمابی، گسترش دگرسانی‌ها و نیز ارتباط آن‌ها با سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی ساختاری، نشانه‌ی حضور یک کانسار نوع طلای اپی‌ترمال با میزبان برشی است.

واژه‌های کلیدی: *برش گرمابی؛ دگرسانی سرسیتیک؛ طلای اپی ترمال؛ سیمرغ.*

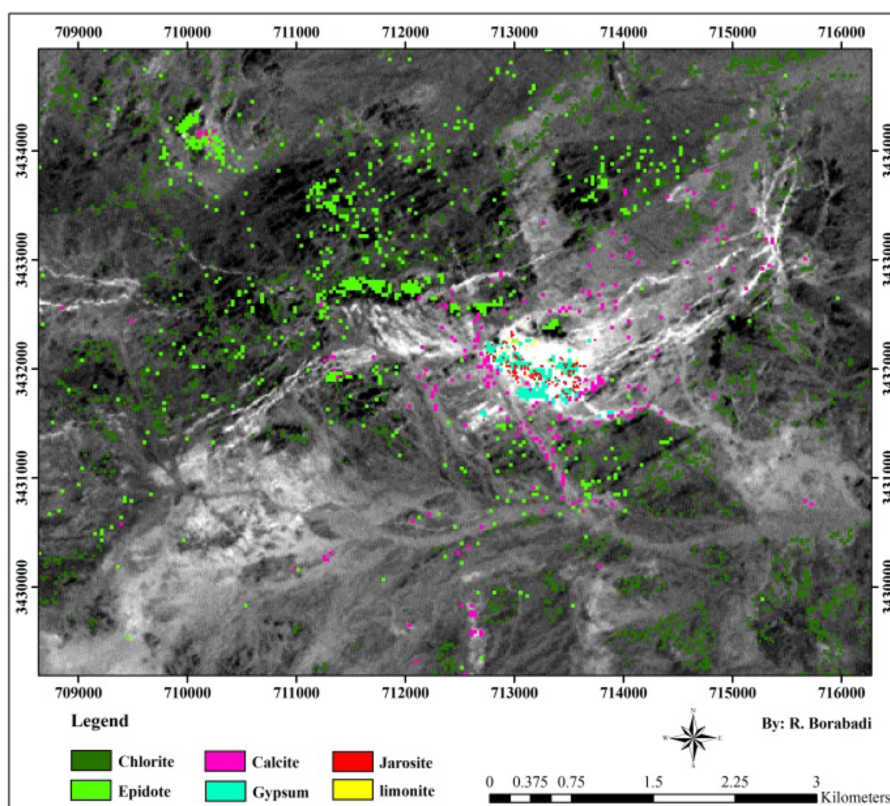
مقدمه

منطقه‌ی مورد بررسی با وسعت ۴۰ کیلومتر مربع در ۱۱۳ کیلومتری جنوب غربی شهرستان نهبندان (شکل ۱ الف و ب)، در بخش جنوبی نقشه‌ی ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم [۱] و در شمال برگه‌ی ۱:۲۵۰۰۰۰ نخیل آباد (آبسرد) [۲] در گستره‌ای بین طول‌های جغرافیایی ً۰۰ ´۱۱ °۵۹ تا ً۵۶٫۵ ´۱۵ °۵۹ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ״۵۸ ´۴۳ °۳۰ تا ً۳۷٫۵ ´۰۱ °۳۱ شمالی قرار دارد. بلندترین ارتفاع منطقه، وابسته به برونزد توده‌ی گرانیتوئیدی شاهکوه و به ارتفاع ۲۷۳۲ متر است (اکرمی و نادری، ۱۳۸۴) [۳]. روستای دهسلم تنها آبادی نزدیک به منطقه است. اگر از روستای ده سلم ۱۵ کیلومتر در جاده آسفالت به سمت غرب و سپس ۲۵ کیلومتر در جاده‌ی خاکی به سمت جنوب حرکت کنیم به محدوده‌ی سیمرغ می‌رسیم. این منطقه از نظر تقسیم‌بندی‌های زمین ساختاری، در بخش مرکزی ایالت زمین‌ساختاری بلوک لوت واقع شده‌است [۴] (شکل ۲). در این بلوک کانی‌سازی طلای وراگرما در منطقه‌ی خونیک گزارش شده‌است [۵-۸]. همچنین کانی‌زایی مس پورفیری در بلوک لوت به اثبات رسیده است [۹-۱۲]. برمبنای سال‌سنجی‌های صورت گرفته به‌روش U-Pb، روی کانی زیرکن توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق مختلف در بلوک لوت، سن این توده‌های از ۴۳٫۳ میلیون سال در کیبرکوه در شمال، تا ۳۳٫۳ میلیون سال در چاه شلجمی در جنوب کاهش می‌یابد [۱۳]. متاسفانه به دلیل دور افتاده بودن منطقه و نبودن راه‌های دسترسی مناسب، بدی شرایط آب و هوا و نا امنی، کار زیادی در منطقه انجام نشد، ولی نقشه‌ی زمین‌شناسی و دگرسانی منطقه در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ تهیه شده است [۱۴]. هدف این مقاله، ارائه‌ی نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰ برای معرفی گستره‌ی پی‌جویی سیمرغ به‌عنوان یک گستره‌ی مستعد برای پی‌جویی کانی‌سازی طلای وراگرما با میزبان برشی است.

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۱۵۶۷۰۳، نمابر: ۰۵۱۳۸۷۹۷۲۷۵، پست الکترونیکی: mazaheri@ferdowsi.um.ac.ir



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی الف) در بلوک لوت. با تغییرات از [۵-۷] ب) و راه دسترسی به آن.



شکل ۲ پردازش تصاویر سنجنده آستر برای کانی‌های کلریت، اپیدوت، کلسیت، ژیپس، ژاروسیت و لیمونیت.

روش بررسی

کارهای زیر برای بررسی منطقه صورت گرفته‌اند:

۱-پردازش تصاویر ماهواره‌های ASTER به‌منظور جدایش منطقه‌های دگرسان و شدت و پراکندگی آن‌ها با استفاده از نرم افزار ENVI 4.2

۲- برداشت ۲۷۸ نمونه از منطقه و تهیه و بررسی ۲۵۰ مقطع نازک در راستای سنگ‌شناسی و چگونگی دگرسانی.

۳- تهیه و بررسی ۲۵ مقطع نازک صیقلی برای آگاهی از چگونگی کانی‌سازی.

۴- تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ از گستره‌ی مورد نظر به وسعت حدود ۴۰ کیلومتر مربع.

۵- تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ از گستره‌ای به گستردگی حدود ۱/۵ کیلومتر مربع

۶- تهیه‌ی نقشه‌ی دگرسانی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ از گستره‌ی مورد نظر به وسعت حدود ۴۰ کیلومتر مربع

۷- تهیه‌ی نقشه‌ی دگرسانی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ از گستره‌ای به گستردگی حدود ۱/۵ کیلومتر مربع.

۹- برداشت، آماده‌سازی و تجزیه‌ی ۲۰ نمونه ژئوشیمیایی سنگی به روش خرده سنگی با دستگاه ICP-MS به روش 1EX برای ۴۶ عنصر، در آزمایشگاه ACME کانادا

۱۰- برداشت، آماده‌سازی و تجزیه‌ی ۲۵ نمونه ژئوشیمیایی سنگی به روش خرده سنگی با دستگاه ICP-OES به روش ME-02 برای ۳۳ عنصر، و نیز روش عیارسنجی آذرین برای عنصر طلا در آزمایشگاه زر آزما.

۱۱- ارسال ۱۰ نمونه از برش‌های گرمابی برای آنالیز XRD به آزمایشگاه کانساران بینالود برای تعیین و شناسایی نوع کانی‌های رسی.

بررسی‌های دورسنجی

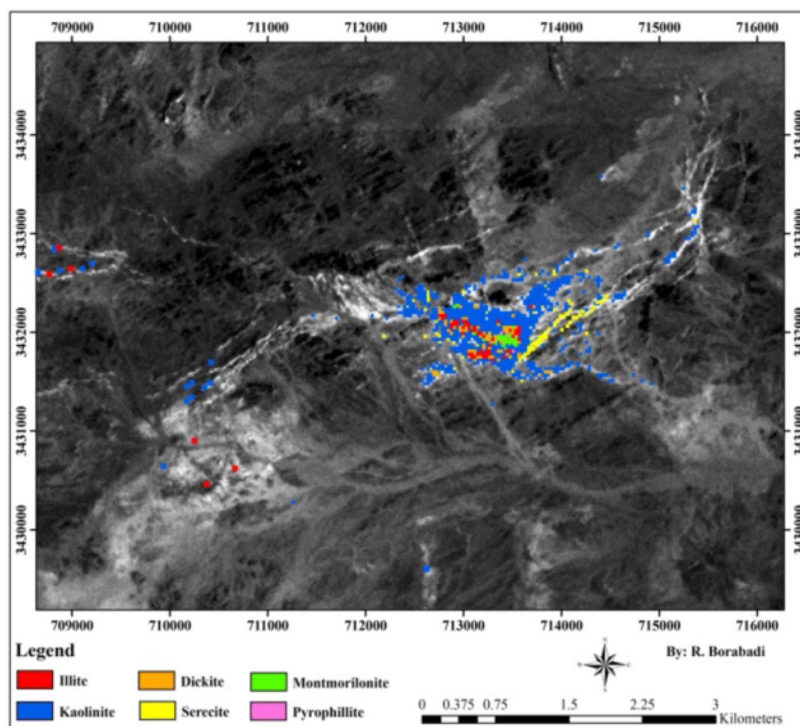
در دهه‌های اخیر با بررسی‌های حاصل از دورسنجی و به کارگیری داده‌های ماهواره‌ای برای آشنایی با منطقه‌های دگرسان، مورد توجه خاصی قرار گرفته‌اند [۱۶،۱۵]. روش‌های نوین پردازش تصاویر ماهواره‌ای در بررسی‌های اکتشافی و زمین‌شناسی مورد استفاده بسیاری از قرار گرفته شده است [۱۸،۱۷]. داده‌های چند طیفی ASTER از سال ۲۰۰۰ برای بررسی زمین‌شناسی و کانی‌سازی مورد بررسی قرار گرفته اند [۱۹]. با پردازش داده‌های ماهواره‌های ASTER به‌منظور تهیه‌ی نقشه‌های معرف منطقه‌های دگرسان و کانی‌سازی، می‌توان با کمترین هزینه و صرف کمترین زمان، مکان‌های مناسب کانی‌سازی را انتخاب کرد. تفاوت طیفی سنگ‌های دگرسان و نادگرسان، مهم‌ترین راه تشخیص نواحی با سنگ‌های دگرسان و به دنبال آن پی‌جویی کانسارها با پردازش تصاویر ماهواره‌های بوده‌اند. منطقه‌ی پی‌جویی سیمرغ جزء مناطق خشک و کویری کشور است و به علت نداشتن پوشش گیاهی، برای پردازش تصاویر ماهواره‌های و شناسایی مناطق دگرسان احتمالی، با صرف زمان کم مناسب است. بررسی‌های دورسنجی در این منطقه با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ASTER انجام گرفت. برای پردازش این تصاویر از روش جدایشی نقشه برداری زاویه طیفی SAM (Spectral Angel Mapper) استفاده شد. کانی‌های شناسایی شده از نتایج این بررسی‌ها عبارتند از سیلیس، دیکیت، ایلیت، کائولینیت، پیروفیلیت، مونتموریونیت، کلریت و اپیدوت، کلسیت لیمونیت و ژاروسیت. شدت و گسترش پراکندگی این کانی‌ها منجر به شناسایی و جدایش دگرسانی‌های مختلفی شده است. دگرسانی آرژیلیک (کانی‌های دیکیت، ایلیت، کائولینیت) در بخش مرکزی تصویر گسترش یافته است (شکل ۲). دگرسانی سیلیسی در مرکز گستره قابل شناسایی است. که با توجه به گسترش نسبتاً زیاد، از نظر پی‌جویی از اهمیت بالایی برخوردار است. دگرسانی پروپیلیتیک (کانی‌های اپیدوت، کلریت، کربنات) در سرتاسر منطقه مشاهده می‌شوند (شکل ۳). حضور این کانی‌های دگرسان با بررسی‌های دقیق صحرایی نیز به اثبات رسیده است.

زمین‌شناسی

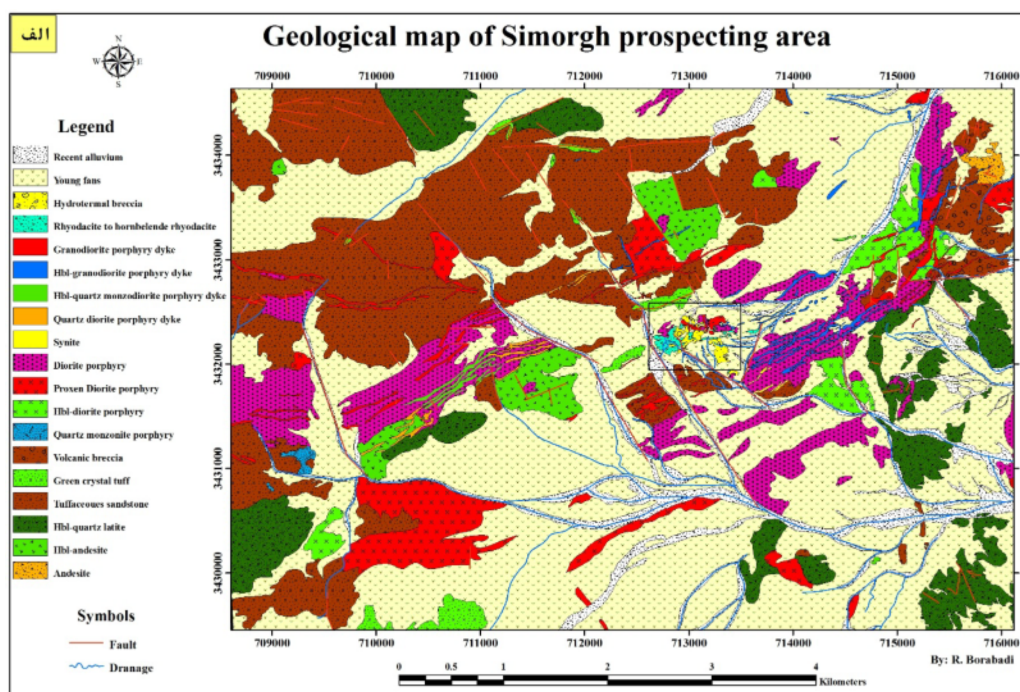
گستره‌ی پی‌جویی سیمرغ از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در بخش جنوبی پهنه‌ی ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم [۱] و بخش شمالی پهنه‌ی ۱:۲۵۰۰۰۰ نخیل آباد (آبسرد) [۲] قرار گرفته است. بنابراین نقشه‌ها بخش بیشتر منطقه شامل گدازه‌های آندزیتی و معادل‌های نیمه عمیق، توف‌های سبز و خاکستری با ترکیب اسیدی تا حد واسط با سن ائوسن است.

براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای زمین‌شناسی شناسایی شده در گستره‌ی پی‌جویی سیمرغ را می‌توان به پنج بخش تقسیم کرد: ۱- سنگ‌های آتشفشانی (هورنبلند کوارتز لاتیت و هورنبلند آندزیت) و پیروکلاستیک ائوسن (شکل ۳ و ۴) که بخش زیادی از سطح منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. ۲- توده‌های نیمه عمیق با ترکیب دیوریت پورفیری با سن نسبی پسا ائوسن که با شدت‌های مختلف دگرسان شده‌اند. ۳- دایک‌های سفید با عرض کم (۱ تا ۱۰ متر) و طول زیاد (۱۰۰ تا ۳ کیلومتر) با روند تقریباً

شمال شرقی- جنوب غربی با ترکیب اسیدی تـا حـد واسـط در حد سینیت پورفیری تا گرانودیوریت پورفیری که در داخـل دو واحد قبلی نفوذ کرده‌اند. ۴- سنگ‌های آتشفشانی جوان با سـن پسا ائوسن با ترکیب ریوداسیت تـا هورنبلنـد ریوداسـیت دارای کانی‌سازی پیریت (در مرکز منطقه) ۵- انواع مختلف برش‌هـای گرمابی کـه در مرکـز منطقـه رخنمـون دارنـد. ۵- رسـوب‌هـا و ته‌نشست‌های کواترنری.



شکل ۳ پردازش تصاویر سنجنده آستر برای کانی‌های ایلیت، کائولینیت، دیکیت، سرسیت، مونتموریونیت و پیروفیلیت.



شکل ۴ نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی پی جویی سیمرغ الف) با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ ب) با مقیاس ۱:۱۰۰۰.

در این پژوهش دو مجموعه توده‌ی نفوذی نیمه عمیق با دو سن مختلف شناسایی شده‌اند. دسته‌ی اول، چهار توده‌ی نفوذی نیمه‌عمیق که به‌دلیل داشتن رنگ سبز در صحرا از دسته‌ی دوم تمیز داده می‌شوند. این توده‌ها عبارتند از دیوریت پورفیری، پیروکسن دیوریت پورفیری، هورنبلند دیوریت پورفیری، کوارتز مونزونیت پورفیری. در تمام این توده‌ها مگنتیت به‌میزان ۳ تا ۵ درصد در زمینه‌ی سنگ موجود است و پذیرفتاری مغناطیسی آن‌ها نیز بین 136×10^{-5} SI تا 6132×10^{-5} SI متغیر است. بنابراین این توده‌ها از نوع گرانیت‌های نوع I خواهند بود [۲۰]. دسته دوم، پنج نوع توده‌ی نفوذی نیمه عمیق به شکل آب بندهای سفید رنگی هستند که با عرض حدود ۱ تا ۱۰ متر و طول بین ۱۰۰ متر تا ۳ کیلومتر در سطح منطقه دیده می‌شوند (شکل ۵) که تمام واحدهای قبلی را قطع می‌کنند، بنابراین از نظر سنی از آن‌ها جوانترند. تعداد این آب‌بندها درسطح منطقه به حدود ۶۰ آب‌بند می‌رسد.

از نظر ترکیب این آب‌بندها شامل گرانودیوریت پورفیری، هورنبلند گرانودیوریت پورفیری، هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری، کوارتز دیوریت پورفیری و سینیت هستند. در زمینه‌ی این توده‌ها مگنتیت دیده نشد و میزان پذیرفتاری مغناطیسی آن‌ها نیز بین 1×10^{-5} SI تا 15×10^{-5} SI در تغییر است. بنابراین این توده‌ها به نظر شواهد گرانیت‌های نوع S را نشان می‌دهند [۲۰]. در زیر به بررسی سنگ‌نگاری واحدهای نیمه‌عمیق منطقه می‌پردازیم:

توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق نوع I

- دیوریت پورفیری که بیشترین گسترش را در شرق، مرکز و غرب منطقه دارد (شکل ۴). دارای بافت سنگ پورفیری است. درشت بلورهای تشکیل دهنده‌ی سنگ شامل ۳۰ تا ۳۵ درصد پلاژیوکلاز و ۲ تا ۴ درصد فلدسپات پتاسیم است. زمینه سنگ نیز عبارتند از کانی‌های یاد شده، کربنات و کلریت هستند و بلورهای پلاژیوکلاز نیز به سرسیت تبدیل شده‌اند. دگرسانی این واحد کربناتی + کلریتی + سرسیتی است. ۴ تا ۵ درصد بلورهای مگنتیت در زمینه قابل رویت‌اند.
- پیروکسن دیوریت پورفیری که بیشتر در جنوب غرب و شمال منطقه گسترش یافته است. این واحد بسیار شبیه به واحد قبلی است با این تفاوت که حدود ۵ تا ۱۰ درصد پیروکسن نوع اوژیت و کمتر دیوپسید در آن مشاهده می‌شود.
- هورنبلند دیوریت پورفیری در شرق منطقه رخنمون دارد. این توده شبیه به واحد دیوریت پورفیری است، ولی حدود ۳ تا ۵ درصد هورنبلند در آن قابل رویت است.
- کوارتز مونزونیت پورفیری در غرب منطقه (شکل ۴) رخنمون دارد. بافت سنگ پورفیری است. درشت بلورهای تشکیل دهنده‌ی سنگ شامل ۲۵ تا ۲۰ درصد پلاژیوکلاز، ۱۰ تا ۱۲ درصد فلدسپات پتاسیم و ۳ تا ۵ درصد هورنبلند است. زمینه‌ی سنگ نیز شامل کانی‌های یاد شده همراه با دگرسانی کربناتی+ کلریتی + سرسیتی است. در این واحد زمینه‌ی سنگ دارای کربنات و کلریت است و بلورهای درشت پلاژیوکلاز تا ۵۰ درصد به سرسیت تبدیل شده‌اند. علاوه براین حدود ۴ تا ۵ درصد بلورهای شکل‌دار کدر (مگنتیت) در زمینه قابل رویت‌اند.



شکل ۵ نمایی از دایک‌های موجود در منطقه‌ی الف. دایک هورنبلند گرانودیوریت پورفیری که در واحد کریستال توف نفوذ کرده است. ب. هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری که در واحد دیوریت پورفیری توف نفوذ کرده است.

دایک‌های سفید

-گرانودیوریت پورفیری که بیشتر به‌صورت آب‌بندهای سفید در غرب و شمال شرق منطقه گسترش یافته است (شکل ۵ الف). بافت این واحد پورفیری با زمینه‌ی میان دانه‌ی تا ریزدانه است. کانی‌های درشت مهم این واحد شامل، پلاژیوکلاز ۵ تا ۱۰ درصد، فلدسپات پتاسیم ۱ تا ۲ درصد و در زمینه سنگ کوارتز اولیه به‌صورت ریز دانه به فراوانی (۳۰ تا ۳۵ درصد) دیده می-شوند. درشت بلورهای پلاژیوکلاز نیز حدود ۵ تا ۱۰ درصد به سرسیت تبدیل شده‌اند. در زمینه نیز حدود ۴ تا ۵ درصد بلورهای کوارتز ثانویه دیده می‌شوند.

- هورنبلند گرانودیوریت پورفیری به‌صورت دسته آب‌بندهای سفید در مرکز، شمال و شمال شرق منطقه گسترش یافته است. این توده شبیه به واحد دیوریت پورفیری است، ولی حدود ۲ تا ۴ درصد هورنبلند در آن قابل رویت است.

- هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری به‌صورت دسته آب‌بندهای سفید با روند شمال شرقی- جنوب غربی در غرب منطقه گسترش یافته است (شکل ۵ ب). بافت این واحد پورفیری و گلومروپورفیری با زمینه دانه متوسط تا دانه ریز است. کانی‌های درشت شامل، کوارتز ۵ تا ۷ درصد، پلاژیوکلاز ۱۰ تا ۱۵ درصد، فلدسپات قلیایی ۵ درصد، ۳ تا ۴ درصد هورنبلند. درشت بلورهای پلاژیوکلاز نیز حدود ۵ تا ۸ درصد به سرسیت تبدیل شده‌اند. در زمینه نیز حدود ۳ تا ۵ درصد بلورهای اکسید شده پیریت دیده می‌شوند.

-کوارتز دیوریت پورفیری به‌صورت چند دسته دایک با روند شمال شرقی- جنوب غربی در غرب منطقه قابل مشاهده هستند (شکل ۴). بافت این واحد پورفیری با زمینه میان دانه تا ریزدانه است. کانی‌های درشت شامل، کوارتز ۶ تا ۸ درصد، پلاژیوکلاز ۱۰ تا ۱۵ درصد، فلدسپات قلیایی ۱ تا ۲ درصد. درشت بلورهای پلاژیوکلاز نیز حدود ۵ تا ۱۰ درصد به سرسیت تبدیل شده‌اند. در زمینه نیز حدود ۳ تا ۴ درصد بلورهای اکسید شده پیریت دیده می‌شوند.

- سینیت پورفیری به‌صورت چند آب بند کوچک در مرکز محدوده با روند شمال شرقی- جنوب غربی رخنمون دارند. بافت این توده پورفیری با زمینه‌ی درشت دانه است. کانی‌های تشکیل دهنده‌ی این سنگ شامل کوارتز ۲ درصد، فلدسپات قلیایی ۵۰ درصد، پلاژیوکلاز ۲۰ درصد. در این واحد فلدسپات‌ها تا حدود ۵۰ درصد به سرسیت تبدیل شده‌اند. در زمینه نیز حدود ۳ تا ۴ درصد بلورهای اکسید شده پیریت دیده می‌شوند.

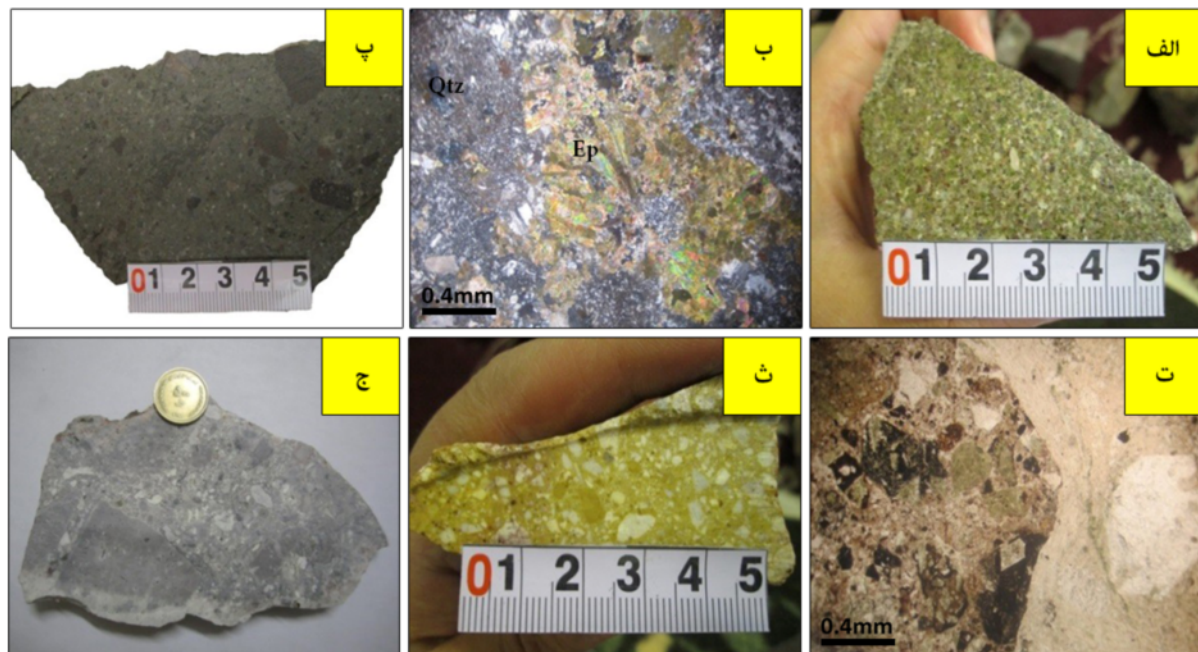
انواع برش‌های موجود در منطقه

گستره‌ی پی‌جویی سیمرغ به دلیل داشتن شرایط زمین‌شناسی و زمین‌ساختی فعال دارای سه نوع برش است، که به ترتیب به بررسی و تفسیر هر کدام خواهیم پرداخت.

۱- توف‌های برشی: بیشترهای موجود در منطقه ماسه سنگ‌های توفی با لایه‌بندی کاملاً مشخص هستند که در صحرا با رنگ قهوه‌ای تیره دیده می‌شوند. در برخی نقاط این ماسه سنگ‌های توفی به رنگ سبز تغییر رنگ داده‌اند و برشی شده‌اند (شکل ۶ الف). کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپات قلیایی هستند که در این سنگ‌های برش یافته را تشکیل می‌دهند و سیمان سیلیسی- اپیدوتی فضای خالی بین این بلورها را پر کرده است. اپیدوت به وفور (۱۰ تا ۱۵ درصد) و مقادیر کمتری از کلریت و کربنات در زمینه‌بین برش‌ها دیده می‌شود. این برش‌ها به‌دلیل داشتن اپیدوت فراوان (شکل۶ ب) و به رنگ سبز روشن در صحرا به راحتی قابل شناسایی هستند.

۲- برش‌های آتشفشانی: این واحد با ریخت‌شناسی پست و رنگ قهوه‌ای در صحرا و در نمونه دستی قابل تشخیص است (شکل ۶ پ). بیشترین گستردگی این واحد در شرق و جنوب شرقی گستره دیده می‌شود. این برش‌ها دارای ۱۰ تا ۱۲ درصد کوارتز با بافت خلیجی هستند. فلدسپات قلیایی نیز بین ۲۵ تا ۳۰ درصد در آن‌ها دیده می‌شود. قطعاتی از سنگ‌های بیگانه با ترکیب آندزیت و قطعاتی از برش‌های از قبل موجود (شکل۶ ت)، نیز درون این برش‌ها قابل رویت‌اند.

۳- برش‌های گرمابی: از برش‌های گرمابی در بسیاری از نقاط ایران و جهان کانی‌سازی طلا و نقره پورفیری- وراگرما [۲۱-۲۳] و نقره - طلای وراگرما با میزبان برشی [۲۴] و مولیبدن پورفیری نوع کلایمکس [۲۵] گزارش شده است. برش‌های گرمابی در این منطقه با وعستی حدود ۷۰۰ × ۷۵۰ متر مربع در بخش میانی منطقه رخنمون دارند. این واحد با ریخت-شناسی تپه ماهوری و به‌رنگ سفید کامل در صحرا قابل شناسایی است. برش‌های گرمابی این منطقه بین ۰/۵ تا ۵ درصد پیریت دارند. این پیریت‌ها در اکثر موارد کاملاً شکل‌دار و در بعضی موارد نیمه شکل‌دار هستند و با رنگ زرد کم رنگ در نمونه دستی کاملاً قابل رویت هستند. اندازه‌ی این پیریت‌ها از ۰/۱ میلیمتر تا ۲ میلیمتر در تغییر است. کانی‌سازی پیرت به سه شکل افشان در زمینه، افشان در قطعات سنگی موجود درون برش و به‌صورت رگچه‌ای در این برش‌ها تشکیل شده‌اند.



شکل ۶ الف. نمونه‌ی دستی توف برشی ب. مقطع میکروسکوپی توف برشی، نور PPL پ. نمونه‌ی دستی برش آتشفشانی ت. قطعه برشی درون آن، نور PPLث. نمونه دستی برش گرمابی منو مکتیک با سیمان سیلیسی و ژاروسیت ج. نمونه‌ی دستی برش گرمابی پلی مکتیک با سیمان سیلیسی. Ep: اپیدوت، Qtz:کوارتز.

دگرسانی

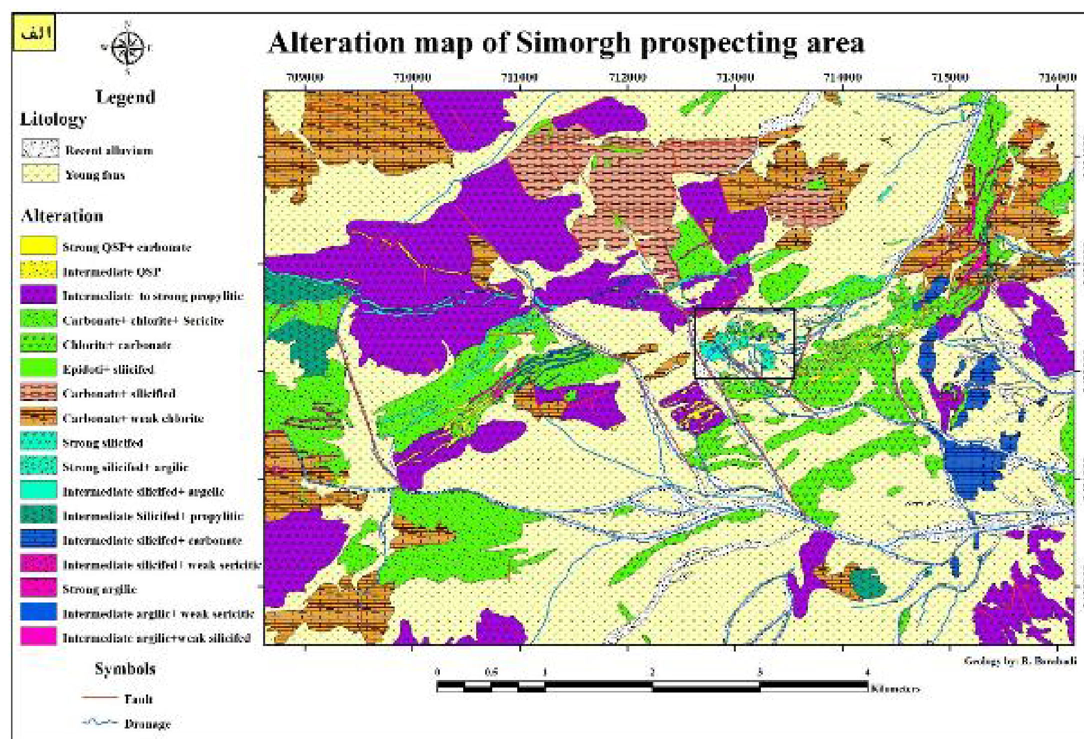
براساس مشاهدات صحرایی و آزمایشگاهی چهار نوع دگرسانی اصلی در سطح شناسایی شدند که عبارتند از پروپیلیتیک، آرژیلیک، سرسیتیک و سیلیسی. این چهار نوع دگرسانی براساس فراوانی کانی‌های حاصل از دگرسانی به هفده زون منطقه تقسیم شده و در نقشه‌های دگرسانی (شکل۷ الف و ب) نشان داده شده‌اند. این منطقه‌بندی تا حدودی شبیه به منطقه بندی دگرسانی تعریف شده برای کانسارهای طلای وراگرما توسط [۸، ۲۶] است. در زیر به توضیح چند منطقه‌ی دگرسان مهم موجود در منطقه می‌پردازیم.

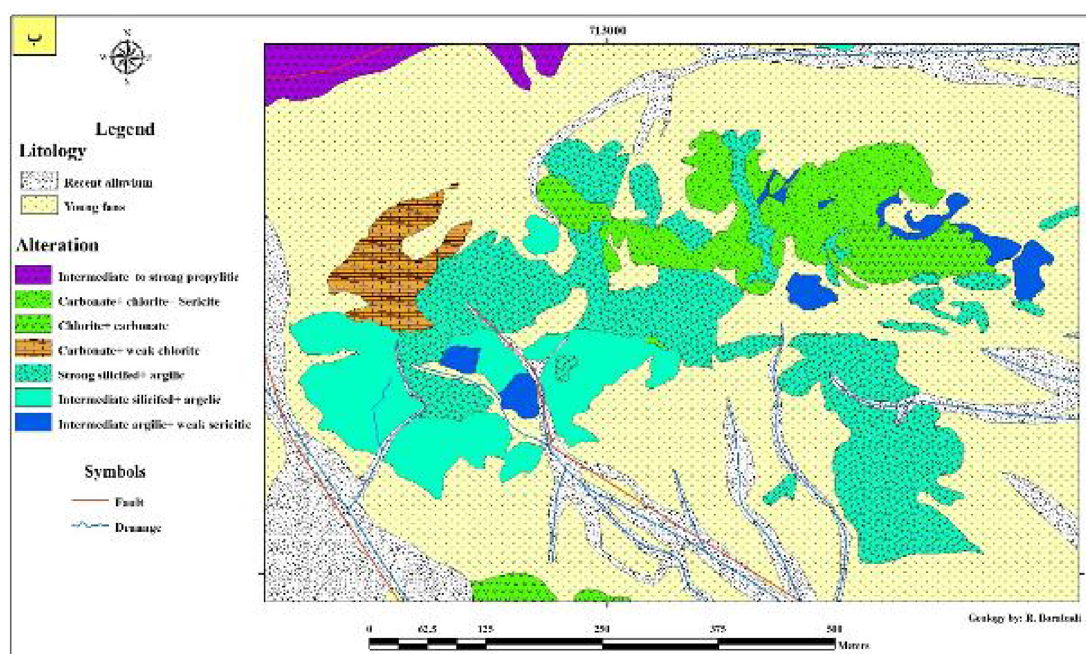
زون دگرسانی سرستیک شدید + کربناتی در چند دایک هورنبلند گرانودیوریت پورفیری واقع در مرکز گستره قابل شناسایی هستند. مهم‌ترین کانی‌های این دگرسانی عبارتند از کوارتز + سرسیت + پیریت + کربنات (شکل ۸ الف). در این منطقه پلاژیوکلازها و کمتر فلدسپات‌های قلیایی حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد به سرسیت تبدیل شده‌اند. کوارتز ثانویه نیز به‌صورت پراکنده و به‌صورت رگچه‌ای نیز در متن سنگ دیده شد. پیریت به‌صورت اکسید شده نیز به‌صورت پراکنده تا ۳ درصد و محدوده‌ای در داخل برخی رگچه‌های سیلیسی قابل رویت است. کربنات نیز به‌صورت ثانویه در متن سنگ تا حدود ۵ تا ۱۰ درصد دیده شد.

منطقه‌ی دگرسانی سرستیک متوسط در مرکز گستره و در چند دایک سینیت پورفیری دیده شدند. کوارتز، سرسیت و پیریت مهم‌ترین کانی‌های این دگرسانی هستند (شکل ۸ ب). پلاژیوکلازها و فلدسپات‌های قلیایی بین ۳۵ تا ۴۰ درصد به سرسیت تبدیل شده‌اند. پیریت به‌صورت اکسید نیز به‌صورت پراکنده تا ۳ درصد در زمینه‌ی سنگ وجود دارد.

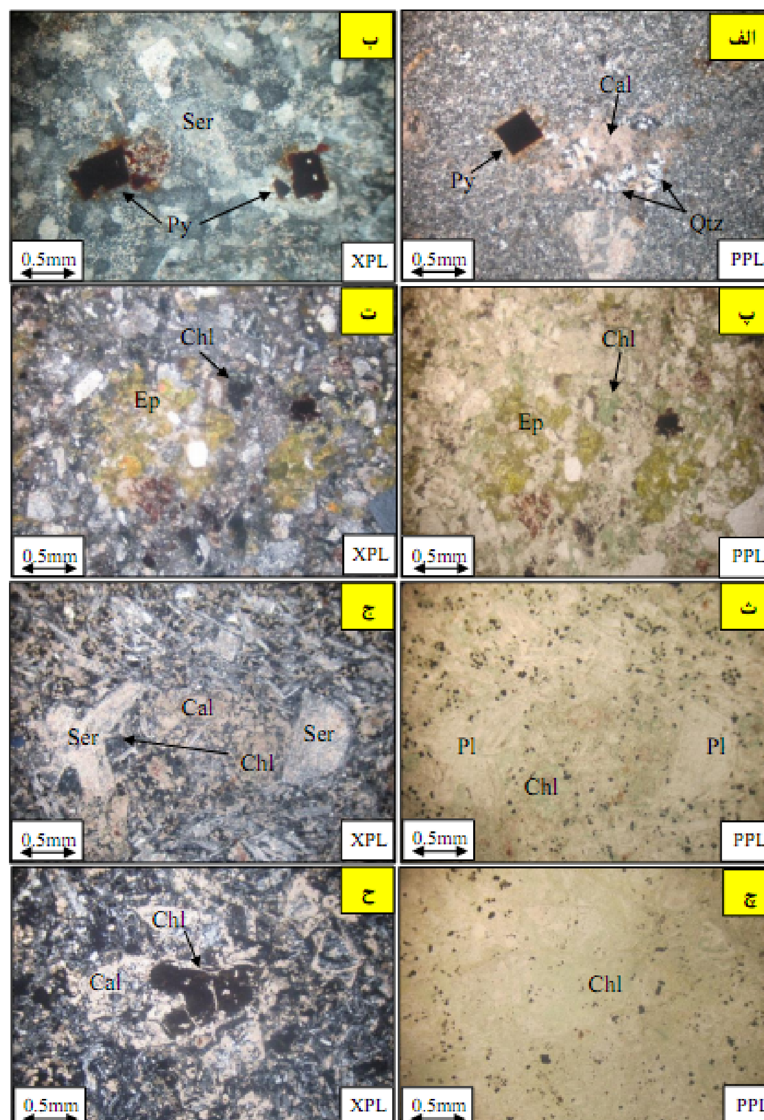
دگرسانی غالب در منطقه‌ی مورد بررسی، دگرسانی پروپیلیتیک است که بخش بزرگی از واحدهای سنگی را تحت تاثیر قرار داده است. این نوع دگرسانی بیشتر در بخش‌های شمال‌غرب، غرب و شرق منطقه قابل رویت است بیشتر واحدهای به شدت فشرده، ماسه سنگ‌های توفی، هورنبلند کوارتز لاتیت و هورنبلند آندزیت تحت تاثیر این نوع دگرسانی قرار گرفته‌اند (شکل ۸ پ و ت). شدت این نوع دگرسانی در نقاط مختلف متفاوت است که به‌دلیل محدودیت در نشان دادن آن در نقشه شدت‌های متوسط و شدید را با هم نشان داده‌ایم.

مهم‌ترین کانی‌های این دگرسانی اپیدوت، کلریت و کربنات و مقادیر کمتری کانی‌های رسی و سیلیس است. مقادیر این کانی‌ها در نقاط مختلف متفاوت است. مقدار اپیدوت بین ۳ تا ۵ درصد، کلریت بین ۲۰ تا ۳۰ درصد تغییر می‌کند. اغلب این کانی‌ها حاصل دگرسان شدن کانی‌های آهن و منیزیم‌دار و پلاژیوکلازهاست. کانی‌سازی پیریت به‌صورت افشان در این منطقه تا حدود ۱ تا ۱۰ درصد دیده می‌شود.





شکل ۷ نقشه‌ی دگرسانی گستره‌ی پی‌جویی سیمرغ الف) با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ ب) با مقیاس ۱:۱۰۰۰.



شکل ۸ الف.دگرسانی کوارتز + سرسیت + پیریت + کربنات در دایک هورنبلند گرانودیوریت پورفیری، ب. دگرسانی کوارتز + سرسیت + پیریت در دایک سینیت پورفیری، پ و ت.دگرسانی پروپلیتیک شدید در واحد توف برشی، ث. دگرسانی کربنات+ کلریت+ سرسیت در توده دیوریت پورفیری و ج. دگرسانی کربنات + کلریتدر توده دیوریت پورفیری. Cal: کلسیت، Ep: اپیدوت، Qtz: کوارتز، Chl:کلریت،Ser: سرسیت.

منطقه‌ی دگرسانی کربنات + کلریت + سرسیت و کربنات + کلریت بیشتر در غرب، شرق و مرکز منطقه دیده می‌شود. دیوریت پورفیری و پیروکسن دیوریت پورفیری واحدهای سنگی هستند که تحت تاثیر این نوع دگرسانی قرار گرفته‌اند. مهم‌ترین کانی‌های این دگرسانی عبارتند از کربنات‌های ثانویه، کلریت و سرسیت (شکل ۸ ث تا ح). کربنات‌ها و کلریت به صورت پراکنده در زمینه‌ی سنگ و رگچه‌ای قابل مشاهده هستند. هر سه نوع کلریت سبز، آبی و قهوه‌ای در این نوع دگرسانی در سنگ‌های مختلف رویت شده‌اند. بلورهای درشت پلاژیوکلاز در این سنگ‌ها به شدت سرسیتی شده‌اند و روی آن‌ها را سرسیت به‌طور کامل پوشانده است.

کانی‌زایی

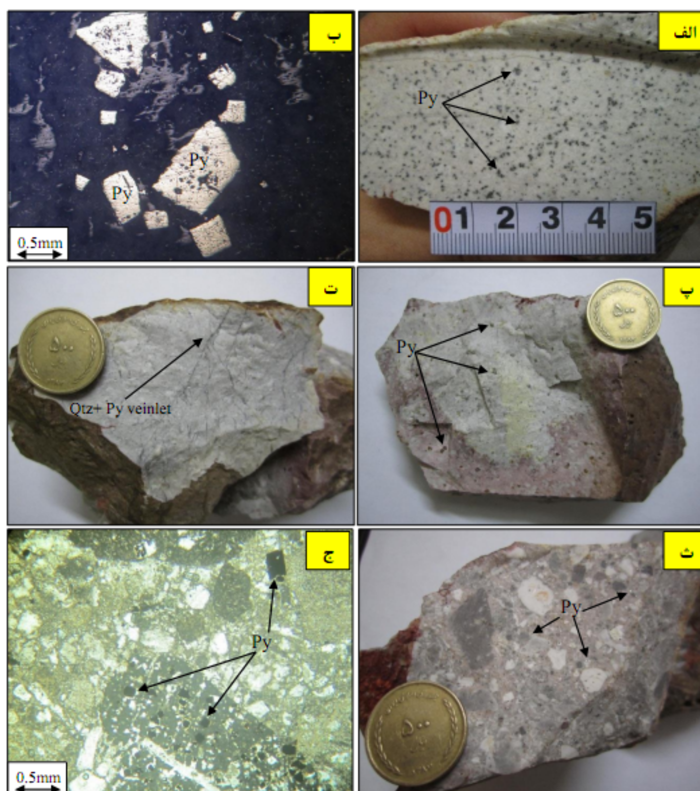
کانی‌زایی در سطح، به‌صورت افشان و برش گرمابی دیده می‌شود. کانی‌سازی افشان و رگچه‌ای شامل پیریت (۱ تا ۱۰ درصد) در زمینه تمام دایک‌های سفید (شکل ۹ الف و ب) و ریوداسیت‌ها (شکل ۹ پ و ت) منطقه و کانی‌سازی مگنتیت (۲ تا ۶ درصد) درون توده‌های دیوریت پورفیری و پیروکسن و هورنبلند دیوریت پورفیری تشکیل شده‌اند. بیشتر پراکندگی کانی‌سازی افشان پیریت در منطقه‌های سیلیسی و سیلیسی + آرژیلیک مشاهده می‌شود. نوع دیگر کانی‌سازی در این منطقه برش گرمابی است. منطقه‌ی برش گرمابی در مرکز گستره، گسترده‌ای به اندازه‌ی ۷۵۰×۷۰۰ متر مربع را به خود اختصاص

داده است. این منطقه دارای قطعات ریز و درشت زاویه‌دار از ۱ میلیمیتر تا ۱۰ سانتیمترند (شکل ۶ ث و ج). بافت مشاهده شده در این برش‌ها از نوع موزاییکی است. در این بافت شکستگی‌ها اندکی گسترش می‌یابند و فاصله‌ی بین قطعات افزایش یافته است. این پدیده در اثر فشار شاره‌های کانی‌ساز می‌تواند ایجاد شود [۲۷]. برش‌های موجود در این منطقه حداقل به دو نوع قابل تقسیم هستند. دسته‌ی اول برش‌های گرمابی پلی مکتیک که دارای قطعات متنوعی از توف، آندزیت و ریوداسیت هستند و دسته دوم برش‌های گرمابی منو مکتیک که قطعات آن تنها ریوداسیت یا هورنبلند ریوداسیت‌هایی هستند که برشی شده‌اند. در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ (شکل ۴. ب) برش‌های مونو مکتیک بیشتر در بخش مغرب محدوده گسترش دارند و برش‌های پلی‌مکتیک بیشتر در بخش شرق محدوده دیده می‌شوند. تمامی این برش‌ها با یک سیمان سیلیسی و کلریتی سخت شده‌اند. کانی‌سازی پیریت در برش‌های گرمابی (شکل ۹ ث و ج) در برخی قطعات ریوداسیتی و هورنبلند ریوداسیتی، در سیمان و رگچه‌های کلریتی و به‌ندرت درون رگچه‌های سیلیسی دیده می‌شود. اندازه بلورهای پیریت در برخی نمونه‌ها تا ۵ میلیمیتر هم می‌رسد.

ژئوشیمی

روش‌های ژئوشیمیایی نقش مهمی در شناسایی بیهنجاری‌های وابسته به کانسارهای دارای رخنمون و فاقد رخنمون دارند [۲۸]. یکی از هدف‌های پی‌جویی ژئوشیمیایی، دستیابی به تمرکز غیر عادی عناصری است که به کانی‌سازی وابسته‌اند. توزیع آماری عناصر اصلی در طبیعت عادی است. در شرایطی که سنگ‌ها تحت تاثیر دگرسانی و کانی‌سازی قرار بگیرند، این توزیع از حالت عادی خارج شده و به شکل غیر عادی در می‌آید [۲۹].

به‌دلیل ریخت‌شناسی پست منطقه‌ی مورد بررسی و وجود ماسه و رسوب‌های بادی در آبراهه‌های منطقه از برداشت نمونه‌های رسوب آبراهها به عنوان نمونه‌برداری از هاله ژئوشیمیایی ثانویه صرف نظر شد و بررسی‌های ژئوشیمیایی تنها بر روی هاله‌ی لیتو ژئوشیمیایی اولیه متمرکز شدند. در بررسی ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ، داده‌های حاصل از ۴۵ نمونه که توسط صاحب محدوده و شرکت در کاو انجام گرفت، مورد بررسی قرار گرفتند.

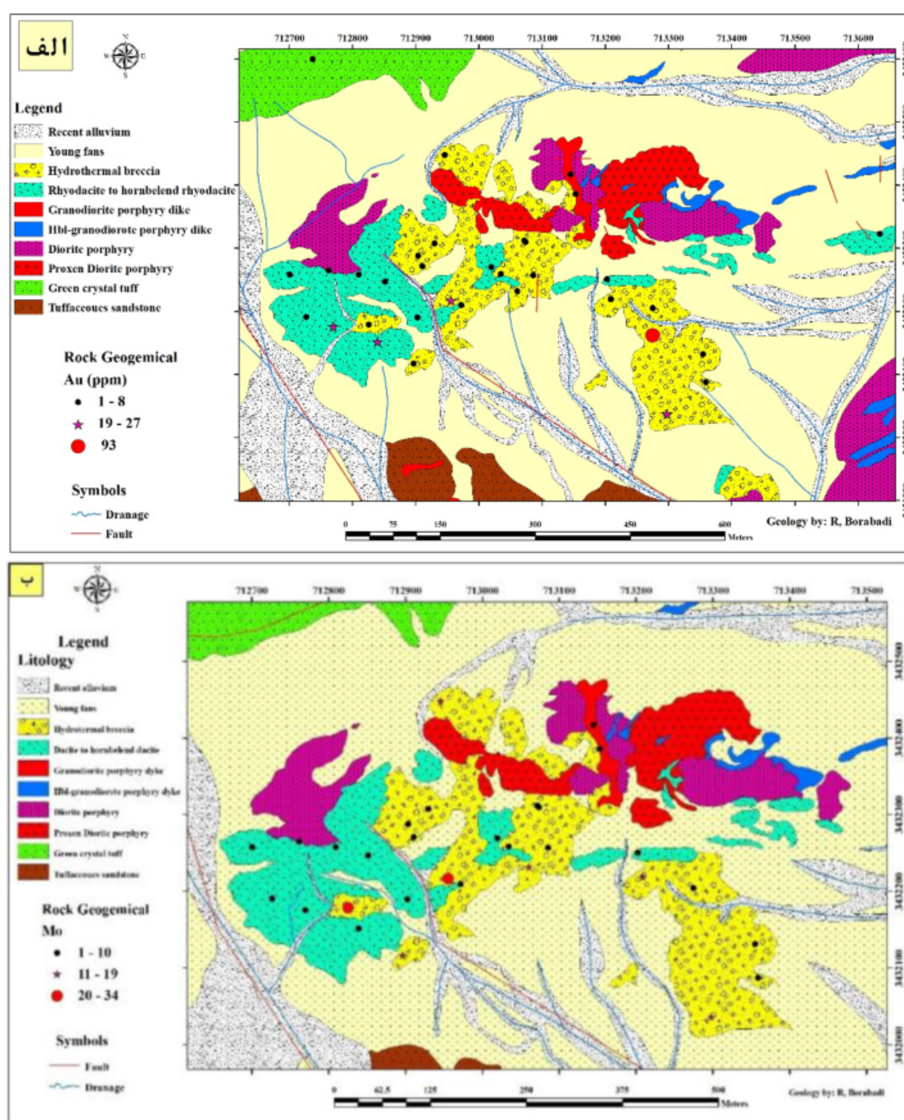


شکل ۹ الف. نمونه‌ی دستی دایک گرانودیوریت پورفیری دارای کانی‌سازی پیریت به‌صورت پراکنده و ب. مقطع میکروسکوپی دایک گرانودیوریت پورفیری (نور بازتابی)، پ. ریوداسیت دارای کانی‌سازی پیریت به‌صورت پراکنده، ت.ریوداسیت دارای رگچه کوارتز + پیریت، ث. نمونه‌ی دستی از برش گرمابی پلی مکتیک دارای کانی سازی پیریت هم در زمینه هم در قطعات، ج: مقطع میکروسکوپی از تصویر ث (نور XPL). Py: پیریت.

برداشت این نمونه‌ها از منطقه‌های دگرسان و از محل‌های کانی‌سازی پیریت صورت گرفت. آنالیز نمونه‌های ژئوشیمی برای ۲۰ نمونه به روش ۴ اسید (روش 1EX) و اندازه‌گیری با ICP-MS در آزمایشگاه ACME کشور کانادا و برای ۲۵ نمونه برای طلا به روش FireAssay و برای ۳۴ عنصر به روش ME-02 (روش انحلال ۴ اسید) توسط ICP-OES در آزمایشگاه زر آزما انجام شد (جدول ۱). بالاترین مقدار طلا ۹۳ میلی‌گرم در تن در واحد برش گرمابی پلی مکتیک با دگرسانی سیلیسی شدید + آرژیلیکی در مرکز محدوده دیده می‌شود (شکل ۱۰ الف). بالاترین میزان نقره ۰/۴ گرم در تن در واحد ریوداسیتی، حداکثر پراکندگی مولیبدن ۳۴ گرم در تن (شکل ۱۰ ب). آرسنیک ۵۰ گرم در تن، مس ۱۶ گرم در تن، سرب ۵۱ گرم در تن و روی ۱۱۸ گرم در تن بودند. بهنجاری عنصر آرسنیک و تا حدود کمتر در چند مورد بهنجاری عنصر آنتیموان در منطقه دیده می‌شود. این عناصر به عنوان عناصر ردیاب فوق کانساری همراه با کانسارهای طلای وراگرما یافت می‌شوند و گاه خود تشکیل یک ذخیره‌ی اقتصادی را می‌دهند [۳۰].

جدول ۱ نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های خرده سنگی. تمام نمونه هایی که میزان طلای آن‌ها کمتر از ۰/۱ گرم در تن است در آزمایشگاه ACME کانادا با دستگاه ICP-MS و با روش 1DX آنالیز شدهاند و سایر نمونه ها در آزمایشگاه زر آزما برای طلا به روش Fair assye و برای سایر عناصر با دستگاه ICP-OES و به روش ME-02 آنالیز شدهاند.

Sample	X	Y	Au(ppb)	Ag(ppm)	As(ppm)	Mo(ppm)	Cu(ppm)	Pb(ppm)	Zn(ppm)	Sb(ppm)
S-C-۳	۷۱۵۳۴۵	۳۴۳۳۴۸	۵	–	–	–	–	–	–	–
S-C-۴	۷۱۵۳۲۲	۳۴۳۳۲۲۷	<۰/۱ppm	۰/۴	۳۲	۴/۸	۱۵/۹	۱۵/۹	۷	۱۴/۶
S-C-۸	۷۱۲۴۴۲	۳۴۳۲۹۷۴	۵	–	–	–	–	–	–	–
S-C-۱۰	۷۱۲۵۲۹	۳۴۳۲۶۴۰	<۰/۱ppm	۰/۲	۸	۴/۶	۵	۱۷/۶	۳	۱/۲
S-C-۱۱	۷۱۲۵۱۱	۳۴۳۲۷۳۸	<۰/۱ppm	<۰/۱	۳۱	۸	۸/۷	۱۳/۹	۲	۱/۳
S-C-۱۲	۷۱۲۳۵۹	۳۴۳۲۸۰۲	۵	–	–	–	–	–	–	–
S-C-۱۵	۷۱۰۷۰۵	۳۴۳۱۸۲۶	۵	–	–	–	–	–	–	–
S-C-۱۹	۷۱۲۷۰۱	۳۴۳۲۲۵۸	<۰/۱ppm	<۰/۱	۲۷	۳/۳	۴/۱	۱۴/۵	۵	۱/۷
S-C-۲۰	۷۱۲۷۶۲	۳۴۳۲۲۶۵	۵	<۰/۱	۱۹	۴/۲	۴/۹	۱۹/۲	۵	۱/۱
S-C-۲۱	۷۱۲۷۷۰	۳۴۳۲۱۷۶	۲۵	<۰/۱	۲۵	۴/۵	۵	۱۹/۷	۵	۱/۷
S-C-۲۲	۷۱۴۵۵۵	۳۴۳۲۳۴۰	۵	–	–	–	–	–	–	–
S-C-۲۳	۷۱۴۲۹۶	۳۴۳۲۳۴۰	۵	–	–	–	–	–	–	–
S-C-۲۴	۷۱۴۱۸۰	۳۴۳۲۲۹۸	۵	–	–	–	–	–	–	–
S-C-۲۵	۷۱۲۸۱۰	۳۴۳۲۲۵۸	۶	<۰/۱	۲۶	۴/۲	۵/۳	۲۰/۴	۳	۱
S-C-۲۶	۷۱۲۸۵۲	۳۴۳۲۲۴۷	۷	<۰/۱	۱۹	۳/۵	۳/۹	۱۱/۲	۳	۱/۴
S-C-۲۸	۷۱۲۸۴۰	۳۴۳۲۱۵۲	۲۶	۰/۳	۳۵	۵/۹	۷/۶	۱۸/۱	۸	۱/۹
S-C-۲۹	۷۱۲۹۰۳	۳۴۳۲۱۹۰	۵	۰/۲۶	۱۳/۳	۷/۵	۱۳	۴۱	۱۵	۱/۱۱
S-C-۳۰	۷۱۲۹۷۲	۳۴۳۲۲۱۰	<۰/۱ppm	<۰/۱	۲۰	۸/۶	۴/۱	۱۸/۱	۴	۱/۵
S-C-۳۲	۷۱۲۰۲۰	۳۴۳۲۲۷۰	<۰/۱ppm	<۰/۱	۵	۴/۹	۷/۵	۳۰/۹	۴	۱/۳
S-C-۳۳	۷۱۲۹۳۰	۳۴۳۲۳۰۸	<۰/۱ppm	<۰/۱	۱۱	۵	۶	۲۰/۴	۵	۱/۳
S-C-۳۶	۷۱۳۰۷۲	۳۴۳۲۳۱۲	<۰/۱ppm	<۰/۱	۵	۸/۴	۴/۵	۱۰/۵	۵	۱/۴
S-C-۳۸	۷۱۳۱۰۹	۳۴۳۲۳۱۶	۵	–	–	–	–	–	–	–
S-C-۳۹	۷۱۳۱۴۵	۳۴۳۲۴۱۷	<۰/۱ppm	<۰/۱	۱۵	۷/۴	۳/۹	۱۵/۵	۴	۱/۲
S-C-۴۰	۷۱۳۱۵۳	۳۴۳۲۳۸۶	<۰/۱ppm	۰/۴	۵	۸/۸	۹/۴	۲۲/۴	۲	۱/۳
S-C-۴۱	۷۱۳۲۰۳	۳۴۳۲۲۵۱	۵	۰/۳	۷	۹/۵	۵/۶	۱۹/۲	۴	۱/۶
S-C-۴۲	۷۱۳۲۰۹	۳۴۳۲۲۱۹	۸	۰/۳	۸	۱۹/۲	۶/۳	۱۳/۱	۴	۱/۴
S-C-۴۳	۷۱۳۲۷۵	۳۴۳۲۱۶۲	۹۳	–	–	–	–	–	–	–
S-C-۴۴	۷۱۳۲۹۸	۳۴۳۲۰۳۷	۱۹	<۰/۱	۵۰	۱۹/۲	۱۰/۶	۲۲/۲	۱۱	۱/۹
S-C-۴۵	۷۱۳۵۹۰	۳۴۳۱۸۲۵	۵	–	–	–	–	–	–	–
S-C-۴۶	۷۱۳۶۳۵	۳۴۳۲۳۲۳	۸	۰/۲	۴	۱۳/۱	۶/۸	۳۰/۷	۱۰	۱/۳
S-C-۴۷	۷۱۲۷۳۷	۳۴۳۲۶۰۰	<۰/۱ppm	<۰/۱	۲۲	۰/۸	۱۴/۸	۴۱/۹	۱۱۳	۲/۴
S-C-۴۸	۷۱۲۷۲۷	۳۴۳۲۱۹۱	۶	۰/۲۱	۲۵/۷	۱/۳۷	۴	۳۶	۱۴	۱/۰۹
S-C-۴۹	۷۱۲۸۹۷	۳۴۳۲۱۱۷	۵	۰/۲۱	۱۸/۸	۱۳/۱	۴	۵۱	۱۱	۱/۰۸
S-C-۵۰	۷۱۲۹۵۶	۳۴۳۲۲۱۷	۱۹	۰/۳۶	۲۸/۲	۳۱/۸	۷	۳۹	۱۳	۱/۱
S-C-۵۱	۷۱۳۰۶۱	۳۴۳۲۲۳۲	۵	۰/۲۸	۱۴	۱۲	۵	۳۸	۱۶	۱/۱۶
S-C-۵۲	۷۱۳۰۳۵	۳۴۳۲۲۵۹	۵	۰/۲	۱۹/۷	۹/۸	۳	۳۴	۱۰	۱/۱
S-C-۵۳	۷۱۳۰۷۴	۳۴۳۲۳۱۰	۵	۰/۲۱	۶/۵	۶/۱	۲	۳۲	۹	۱/۰۷



شکل ۱۰ موقعیت و میزان عنصر طلا (الف) و مولیبدن (ب) که بر روی نقشه زمین شناسی نشان داده شده‌اند.

برداشت

منطقه پی‌جویی سیمرغ از سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و توده‌های نیمه عمیق نفوذی تشکیل شده است. واحدهای نیمه-عمیق به دو شکل توده‌های دیوریت سبز رنگ و دایک‌هایی سفید گرانودیوریتی با راستای شمال شرقی جنوب غربی در سرتاسر منطقه گسترش دارند. سنگ‌های آتشفشانی دارای گسترش زیادی در سطح منطقه هستند و واحدهای دارای کانی‌سازی پیریت در مرکز گستره رخنمون شدند. بر اساس پردازش تصاوی ماهواره‌ای و شواهد صحرایی، دگرسانی قابل توجهی در سطح منطقه قابل رویت است. منطقه‌های اصلی دگرسانی شامل پروپیلیتیک، کربنات + کلریت،سیلیسی، آرژیلیک و سرسیتیک‌اند. کانی‌سازی به دو صورت برون‌زاد و درون‌زاد قابل مشاهده‌اند. کانی‌سازی درون زاد در درون توده-های نفوذی نیمه‌عمیق و دیوریتی به‌صورت کانی مگنتیت به شکل پراکنده و در درون دایک‌های سفید، واحد ریوداسیت تا هورنبلند ریوداسیت و برش گرمابی به‌صورت کانی‌سازی پیرت پراکنده و رگچه‌ای مشاهده می‌شود. کانی‌های برون زاد بیشتر شامل اکسیدهای آهن ناشی از اکسید شده پیریت هستند. برش گرمابی یکی از میزبانان کانی‌سازی پیریت در سطح منطقه است. این واحد در بخش مرکزی محدوده وسعت قابل توجهی را به خود اختصاص داده است.

نمونه‌برداری ژئوشیمیای از واحدهای سنگی منطقه بالاترین بهنجاری عنصر طلا را بـه همـین بـرش گرمـابی بـا دگرسـانی سیلیسی شدید + آرژیلیک نشان مـی‌دهـد. بقیـه عناصـر مثـل مس، سرب، روی، نقره بی‌هنجاری شاخصی نـشان نمـی‌دهنـد. مولیبـدن و آنتیمـوان در برخـی نمونـه‌هـا دارای بـی‌هنجـاری هستند. بالاترین میزان مولیبدن و آنتیموان به ترتیب ۳۳ و ۱۴ گرم در تن است. وجود سـنگ‌هـای آتشفـشانی مثـل داسـیت، توده‌های نفـوذی نیمـه‌عمیـق، وجـود دگرسـانی‌هـای وسـیع و گسترده (آرژیلیک، پروپلیتیک، سیلیـسی و سرسـیتی)، حـضور کانی‌سازی سولفیدی به‌صورت پراکنده و رگچه ای، وجود برش-های گرمابی دارای پیریت و داده‌هـای ژئوشـیمیایی کـه بیـانگر بی‌هنجاری طلا هستند و حضور بهنجاری‌های طلا در منطقه‌ی ده سلم و منطقه بالا زرد (۴۰ کیلومتری شمال غرب منطقـه‌ی مورد بررسی) [۱۱] به عنوان مهم‌تـرین کلیـدهای پـی جـویی، می‌توانند ارتباط این منطقه را با کانی‌سازی طـلای وراگرمـا بـا میزبان برشی نشان دهند.

مراجع

[۱] حسینی ض.، افشاریان زاده م.، چـایچی ز.، *"نقـشه زمـین-شناسـی ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سـلم (چـاه وک)"*، انتـشارات سـازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۷۱).

[۲] باباخانی ع.ر.، خلقی م.ح.، زاده‌کبیر ح.، *"نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ نخیل آب (آب سـرد)"*، انتـشارات سـازمان زمـین-شناسی کشور، (۱۳۶۷).

[۳] اکرمی م.ع.، نادری میقانن.، *"نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ده سلم"*، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، (۱۳۸۴).

[۴] آقانباتی ع.، *"زمین‌شناسی ایران"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳)، ۶۰۶ صفحه.

[5] Ruttner A., Stocklin J., *"Geological map of Iran"*, scale 1:1000.000, Geological Survey of Iran (1967).

[6] Berberian M., King G. C. P., *"Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran"*, Canadian Journal of Earth Sciences18 (1981) 210-265.

[7] Alavi M., *"Tectonic map of the Middle East"*, scale 1:2.900.000, Geological Survey of Iran(1991).

[۸] سمیعی س.، کریم‌پور م.ح.، قادری م.، حیدریان شهری م.ر.، *"زمین شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی محدوده-ی خونیک، جنوب بیرجند"*، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، شماره۳،جلد ۲۱، (۱۳۹۱) ، ص ۴۸۷-۴۹۸.

[90] Hedenquist J.W., Arribas A., Gonzales-Urien E., *"Exploration for epithermal gold deposits"*, Reviews in Economic Geology 13(2000) 245-277.

[۹] ملک‌زاده شفارودی آ.، *"زمین‌شناسی، کانی‌سازی، دگرسانی، ژئوشیمی، تفسیرداده‌های ژئوفیزیکی، میکروترمومتری، مطالعات ایزوتوپی و تعیین منشاء کانی‌سازی مناطق اکتشافی ماهرآباد و خوپیک، استان خراسان‌جنوبی"*، پایان نامه دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۸۸)، ۶۰۰ صفحه.

[۱۰] ارجمندزاده ر.، *"مطالعات کانی‌سازی، ژئوشیمی، سن-سنجی و تعیین جایگاه تکتونوماگمایی توده های نفوذی در اندیس معدنی دهسلم و چاه شلغمی"*، بلوک لوت، شرق ایران، پایان نامه دکتری، (۱۳۹۰) ۳۶۹ صفحه.

[۱۱] میری بیدختی ر، کریم پور م. ح.، مظاهری س.ا.، *"مطالعه کانی زایی طلا، مس و روی در منطقه بالازرد، غرب شهرستان نهبندان"*، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه بیرجند (۱۳۹۱) ص۱۵۰- ۱۵۵.

[۱۲] عبدی م.، کریم‌پور م.ح.، *"زمین شناسی، دگرسانی، کانی زایی، پتروژنز، سن سنجی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک هوابرد منطقه اکتشافی کوه شاه، جنوب غرب بیرجند"*، مجله زمین شناسی اقتصادی ایران، شماره ۱، جلد ۴، (۱۳۹۱)،ص ۷۷-۱۰۷.

[۱۳] کریم‌پور م.ح.، ملک‌زاده شفارودی آ.، فارمر لنگ.، استرن چاک.، *"پتروژنز گرانیتوئیدها، سن‌سنجی زیرکن به روش U-Pb، ژئوشیمی ایزوتوپ‌های Sr-Nd و رخداد مهم کانی‌سازی ترشیاری در بلوک لوت، شرق ایران"*، مجله زمین‌شناسی اقتصادی ایران، ، شماره ۱، جلد ۴ (۱۳۹۱) صفحه ۱-۲۷.

[۱۴] برآبادی ر.، مظاهری س.ا.، ابراهیمی خ.، *"زمین شناسی، دگرسانی و اکتشافات ژئوشیمیایی در منطقه اکتشافی سیمرغ، جنوب غرب شهرستان نهبندان، استان خراسان جنوبی"*،

پنجمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، (۱۳۹۲)، ص ۴۳-۴۸.

[15] Rowan L.C., Schmidt R.G., Mars J.C., *"Distribution of hydrothermally altered rocks in the Reko Diq, Pakistan mineralized area based on spectral analysis of ASTER data",* Remote Sensing of Environment 104 (2006) 74–87.

[16] Robert F., Brommecker R., Bourne B.T., Dobak P.J., McEwan C.J., *"Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration"*, Ore Deposits and Exploration Technology Paper 48(2007) 691-711.

[17] Pérez D.J., Crósta A.P., Souza Filho C.R., Marín G., *"Mineral mapping exploration using hyperspectral AVIRIS data in Los Menucos area, Río Negro province (67°51'W- 40°53'S), Argentina"* (2000) 99-672.

[۱۸] معصومی ف.، رنجبر ح.، *"مقایسه بین داده‌های تصحیح شده سنجنده ASTER با روش‌های نرمالیزه شده، میانگین بازتاب داخلی نسبی و لگاریتم باقیمانده جهت نقشه‌برداری از کانی‌های مناطق دگرسان شده"*، سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، ص۳۱۲-۳۱۵.

[19] Zhonghai He., Binbin He., Cui ying، *"Hydrothermal alteration mapping using Asterdata in east Kunlun mountain, China",* Sci. & Technol. of China, Chengdu, China (2010) 4514-4517.

[20] Ishihara S., *"The granitoid series and mineraliziation",* ECONOMIC GEOLOGYE, 75th Annive. (1981) 458- 484.

[21] Laurentiu Nadasan, Floarea Nadasan, *"Gold mineralisation in hydrothermal-breccia from South Eastern part of Frasin deposit",* Bucium district, Apuseni Mountains, Romania, Geochemistry, Mineralogy and Petrology 43 (2005) 133-137.

[22] Arato R., Kiss G., Molnar F., *"Mineralogy and petrology and origin of a hydrothermal breccia in the Recsk porphyry - epithermal ore complex, Ilona Valley, Parad, (NE-Hungary)",* Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Series, Szeged, 7 (2012) 6.

[23] Amy B. Eichenlaub, *"Exploration of genetic links between breccia pipes and porphyry copper deposits in a laramide hydrothermal system, Sombrero Butte, Pinal county, Arizona"*, a Manuscript Submitted to the Faculty of the department of geosciences in partial fulfillment of the requirements for the Degree of master of sciences in the graduate the university of Arizona (2007) 120.

[24] Kouhestani H., Ghaderi M., Zaw Kh., Meffre S., Emami M. H., *"Geological setting and timing of theChah Zard breccia-hosted epithermal gold–silver deposit in the Tethyan belt of Iran",* Miner Deposita, 47 (2011) 425–440.

[25] Rowe A., *"Fluid evolution of the magmatic hydrothermal breccia of the Goat Hill orebady, questa Climax-type porphyry molybdenum system, New Mexico- a fluid inclusion study",* unpublished thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master of Science in Geology (2005) 145.

[26] Hedenquist J.W., Arribas A., Gonzales-Urien E., *"Exploration for epithermal gold deposits",* Reviews in Economic Geology 13 (2000) 245-277.

[27] Laznicka P., *"Breccias and ore. Part 1: History, organization and petrography of breccias",* Ore Geology Rev. (1989) 314-344.

[28] Robert F., Brommecker R., Bourne B.T., Dobak P.J., McEwan, C.J., *"Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration",* Ore Deposits and Exploration Technology,Paper 48 (2007) 691-711.

[29] Rose A.W., Burt D.M., *"Hydrothermal alteration in Barnes, H.L., ed,"Geochemistry of hydrothermal ore deposits",* New York, USA, John Wiley and Sons (1979) 173-235.

[۳۰] کریم‌پور م.ح.، ملک‌زاده شفارودی آ.، حیدریان شهری م.ح.، *"اکتشافات ذخایر معدنی (مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیک)"*، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۴) ۶۳۲ صفحه.